

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA**

Facultad de Ingeniería

**Implementación del
Método de Losas Cortas
en tramo carretero de 10 Km.
en Carretera al Atlántico**

Edgar René Salazar Rabbé

Guatemala
2007

**Implementación del
Método de Losas Cortas
en tramo carretero de 10 Km.
en Carretera al Atlántico**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería**

**Implementación del
Método de Losas Cortas
en tramo carretero de 10 Km.
en Carretera al Atlántico**

**Trabajo de investigación presentado por
Edgar René Salazar Rabbé
para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Civil**

**Guatemala
2007**

Vo.Bo.


f.



Ing. Carlos René Jerez Ramírez

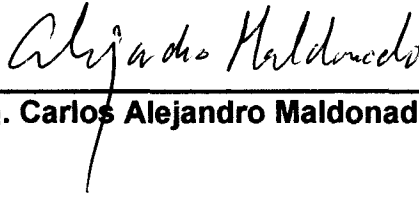
Tribunal

f.



Ing. Carlos René Jerez Ramírez

f.



Ing. Carlos Alejandro Maldonado Litomirsky

f.



Ing. Mónica Gabriela Cueto López

Guatemala 5 de diciembre, 2007

PREFACIO

Para poder realizar este trabajo fue necesario estar presente en los diferentes períodos de la reconstrucción de la Carretera al Atlántico (CA-9 Norte), donde se está trabajando la ampliación de la misma, utilizando el pavimento de concreto hidráulico, en una de sus secciones.

La importancia del uso de esta nueva modalidad para construcción y reconstrucción de carreteras radica en el hecho de su rapidez de ejecución y su durabilidad. Sin embargo aún está en período de prueba, pues se emplea el diseño que se ha desarrollado en Chile en la década de finales del siglo XX, donde ya ha sido utilizado con los resultados previstos.

Para Guatemala, será el momento de decidir entre la nueva tecnología de la construcción, si este es un método que le beneficia tomando en cuenta sus ventajas.

Expreso mi agradecimiento a los ingenieros de la obra, en especial al Ingeniero Eduardo Díaz de la empresa Constructora Codico, S.A., quienes me permitieron participar en este proyecto que marca para Guatemala, una nueva era en el proceso de construcción de carreteras.

Agradezco infinitamente la asesoría del Ingeniero Carlos René Jerez Ramírez, mi Asesor, profesor de alta calidad de quien aprendí mucho en mi formación y futuro colega, quien me extendió la mano para poder realizar este trabajo sobre la Implementación del Método de Losas Cortas en Tramo Carretero de 10 Km. en Carretera al Atlántico (CA-9 Norte) de Puente Rodriguitos hasta Entrada a Palencia.

ÍNDICE

PREFACIO

LISTA DE CUADROS.....vi

LISTA DE ILUSTRACIONES.....vii

RESUMEN.....viii

Capítulos

I. INTRODUCCIÓN.....1

II. GENERALIDADES DEL PAVIMENTO.....2

III. DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS.....4

IV. PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO.....6

V. PROYECTO: REHABILITACIÓN CARRETERA
CA-9 NORTE.....12

VI. COMPARACIÓN ENTRE PAVIMENTO
RÍGIDO Y FLEXIBLE.....25

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....27

VIII. BIBLIOGRAFÍA.....29

IX. APÉNDICE.....30

X. GLOSARIO.....33

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Evaluación del tránsito, diciembre 2006.....	14
2. Promedio TPDA, ambos sentidos.....	14
3. Proyecciones TPDA.....	14
4. Total de vehículos en período de diseño.....	15
5. Datos finales ejes equivalentes.....	18
6. Espesores de capas.....	30
7. Cálculo de ejes equivalentes.....	31
8. Evaluación de la sub-rasante.....	32

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración	Página
1. Capas de un pavimento flexible.....	2
2. Capas de un pavimento rígido.....	3
3. Ventana en programa AASHTO para pavimentos flexibles.....	5
4. Deformación de una losa de 4 metros de largo.....	8
5. Método SuffCut.....	22
6. Forma de absorber un esfuerzo.....	25
7. Comparación de las capas entre pavimentos.....	26

RESUMEN

A través de los años las carreteras en Guatemala han sufrido un deterioro visible, que ha sido tratado mediante recapeos y reconstrucciones utilizando siempre como principal material el asfalto. Debido a las exigencias de la construcción rápida y eficaz, la forma de construir y desarrollar las carreteras ha evolucionado, presentando un material primario diferente: el concreto hidráulico. Con el fin de mejorar el sistema constructivo con este material, se ha experimentado y evolucionado, hasta el punto que se ha diseñado un nuevo método de construcción: El Método de Losas Cortas, el cual ya se está utilizando en diferentes construcciones, incluyendo un tramo de diez kilómetros sobre la carretera al atlántico.

Este nuevo método se utiliza para construir losas de menor longitud y un menor grosor, lo que le da la capacidad de soportar las cargas que se le apliquen. Para la construcción y rehabilitación del tramo se deben seguir criterios para poder controlar el desarrollo de la misma, lo cual se está llevando a cabo de la manera planificada por la constructora contratada.

El diseño consiste en remover la carpeta asfáltica y construir losas de concreto hidráulico sobre la base ya existente. Por lo que se identificarán los criterios involucrados dentro del proceso de construcción de la carretera de concreto, sobre un camino que es tan congestionado como lo es la carretera al atlántico.

El método es impulsado por la empresa Cementos Progreso, ya que en Guatemala es la única empresa que invirtió tiempo y recursos para impulsar esta nueva tecnología, además de contar con equipo para mezclas de concreto hidráulico y el laboratorio para garantizar la calidad del mismo. También es de considerar la capacidad instalada con que cuenta para poder abastecer el

mercado y cumplir con los tiempos mínimos de ejecución que requieren los tramos en reconstrucción.

Dentro del trabajo de investigación se explicará en que consiste el método y cómo está siendo aplicado en el tramo de carretera en cuestión.

Debido a la disminución de las dimensiones de las losas, el costo también se ve afectado. Dicho costo será comparado con una carretera construida usando losas tradicionales así como una construida de asfalto.

I. INTRODUCCIÓN

Guatemala necesita rediseñar su sistema de mantenimiento de las carreteras, ya que debido a la explosión demográfica, al comercio nacional e internacional y a la cantidad de personas y productos que se movilizan por vía terrestre, éste debe realizarse en forma rápida, pero con una garantía de durabilidad y a un costo adecuado al presupuesto de la nación.

Tomando en cuenta lo anterior la empresa Cementos Progreso, presentó un diseño innovador utilizado ya en la rehabilitación de vías terrestres en Santiago de Chile, el cual ofrece un producto que necesita menos tiempo de aplicación y curado, a un costo menor y con un período de habilitación mucho más corto que los métodos tradicionales.

Este trabajo de investigación pretende establecer la conveniencia de utilización del método de Losas Cortas en el mantenimiento de las carreteras de Guatemala, tomando como base la ejecución de este método en 10 kilómetros de la carretera al Atlántico (CA-9 Norte), donde se implementará el mismo.

II. GENERALIDADES DEL PAVIMENTO

A. Descripción de pavimento

Se define como pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que conforman la estructura del pavimento y que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores distribuyéndolas uniformemente, incluyendo la capa de rodadura.

Básicamente, existen dos tipos de pavimentos:

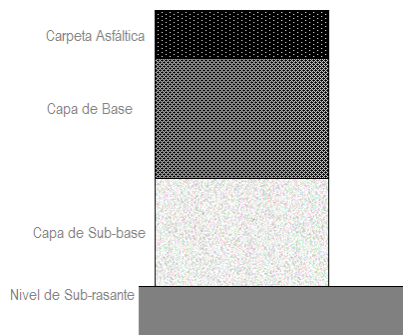
1. Pavimento flexible
2. Pavimento rígido

1. Los pavimentos flexibles son las superestructuras de pavimento en que una carpeta asfáltica proporciona la superficie de rodamiento, las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales que conforman las capas inferiores; y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. Las capas que forman un pavimento flexible sobre la capa de subrasante son:

- a. Sub-base
- b. Base (granular, estabilizada con cemento ó material asfáltico)
- c. Carpeta asfáltica

Ilustración No. 1

Capas de un pavimento flexible

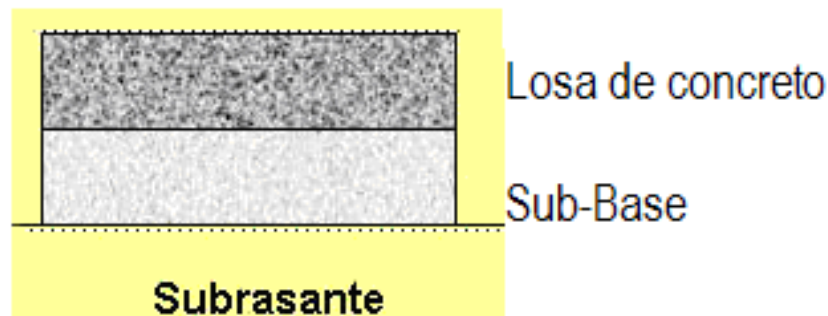


2. Los pavimentos rígidos son las superestructuras de pavimento en el cual la superficie de rodamiento es proporcionada por losas de concreto hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas. Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente falla estructural. Las capas que forman el pavimento rígido sobre la capa de subrasante son:

- a. Sub-base
- b. Losa de concreto hidráulico

La losa de concreto hidráulico que funciona como base y capa de rodadura, puede colocarse directamente sobre la capa de subrasante cuando esta cumple con las condiciones de sub-base, de lo contrario va colocada sobre la capa de sub-base.

Ilustración No. 2
Capas de un pavimento rígido



III. DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

El objetivo del diseño de pavimentos, es contar con una estructura sostenible y económica que permita la circulación de los vehículos de una manera cómoda y segura, durante un periodo fijado por las condiciones de desarrollo. Con respecto a los métodos de diseño de pavimentos, tradicionalmente se han limitado a determinar el espesor de la estructura. En el caso de los pavimentos de concreto hidráulico, estos métodos se basan exclusivamente en los conceptos de fatiga mecánica para determinar, mediante modelos matemáticos, el espesor y la calidad del concreto hidráulico. Es decir, el diseño se orienta fundamentalmente a dimensionar la placa para unas condiciones de fundación generalizada y un tránsito tipificado. En un sentido estrictamente teórico es posible que todos estos métodos sean válidos tanto en sus fundamentos como en sus concepciones. La cuestión es determinar qué tanto se aproximan estos métodos extranjeros a las realidades muy particulares de países y regiones en las cuales la naturaleza de los suelos o materiales térreos de fundación no pueden ser generalizados.

El método de diseño AASHTO, originalmente conocido como AASHO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, basándose en un ensayo a escala real realizado durante dos años en el Estado de Illinois. A partir de los deterioros que experimentan representar las relaciones deterioro - sollicitación para todas las condiciones ensayadas. A partir de la versión del año 1986, el método AASHTO comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original. Los modelos matemáticos respectivos también requieren de una calibración para las condiciones locales del área donde se pretenden aplicar. El siguiente esquema muestra la pantalla desplegada por un programa para hacer uso de la ecuación presentada en AASHTO 1993:

Ilustración No. 3

Ventana en programa AASHTO para pavimentos flexibles

1993 AASHTO Empirical Equation for Flexible Pavements

Equation Solver

Variable Descriptions and Typical Values

Precautions

Type in data in the grey boxes and click the calculate button to see the output. To make additional calculations, change the desired input data and click the calculate button again. Click on the text descriptions of the input or output variables for more information.

INPUT

1. Loading

Total Design ESALs (W_{18}):

2. Reliability

Reliability Level in percent (R): ▾Combined Standard Error (S_0):

3. Serviciability

Initial Serviciability Index (p_i): Terminal Serviciability Index (p_t):

4. Layer Parameters

Number of Base Layers: ▾

	a	m	M_R	Min. Depth
Surface	<input type="text" value="0.44"/>	1.0	N/A	<input type="text" value="0"/>
Subgrade	N/A	N/A	<input type="text" value="10000"/>	N/A

OUTPUT

1. Calculation Parameters

Standard Normal Deviate (z_R): Δ PSI: Design Structural Number (SN):

2. Layer Depths (to the nearest 1/2 inch)

Surface: Total SN based on layer depths:

Comments



Calculate

IV. PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

Los pavimentos de concreto hidráulico tradicional o pavimentos rígidos son diseñados de acuerdo con el método norteamericano AASHTO. Su proceso constructivo básicamente consiste en la ejecución de una base estabilizada de bajo espesor y la construcción de una losa de concreto de 18 a 30 centímetros de espesor, que se puede construir en planchas de 3,5 a 7 metros de ancho, dependiendo de la maquinaria a utilizar. El concreto hidráulico se prepara con maquinaria especial para vibración, compactación y acabado superficial. Una vez terminada la pavimentación, la apertura al tránsito se realiza, dependiendo del tipo de concreto hidráulico, a las doce horas y no más de cinco días de ejecutado, alcanzando una vida útil de 20 a 35 años.

Las principales técnicas de reparación y construcción de los pavimentos de concreto hidráulico provienen de EE.UU. y Europa, al igual que en asfaltos, se desarrollan en Chile a través de proveedores, universidades y el Instituto Chileno del Hormigón (ICH). Las innovaciones en tecnologías de construcción se relacionan con concretos especiales para la velocidad de ejecución y uso del pavimento, las técnicas de reparación, y la variación en los anchos y espesores de las losas.

A. Innovaciones en material

1. Concretos hidráulicos con resistencia a edad temprana: Son pavimentos diseñados para una pronta puesta en servicio, reduciendo los plazos de construcción, aumentando la productividad y disminuyendo las molestias para los usuarios. Los pavimentos de concreto hidráulico tradicional se pueden entregar al tráfico después de catorce días de su construcción. La resistencia a flexo tracción de este tipo de concreto alcanza 2.5 MPa (25 kgf/cm²) a las doce horas y 3.7 MPa (37 kgf/cm²) a los tres días, con lo que se puede entregar anticipadamente el servicio para tráfico liviano y pesado.

2. Compuestos de curado: Se han desarrollado compuestos para retardar la evaporación del agua de exudación que permiten asegurar un mejor curado temprano de los pavimentos de concreto hidráulico. Éstos se utilizan inmediatamente terminada una operación en la superficie y se mantienen hasta el corte. Una vez cortado el pavimento se coloca la membrana de curado.

3. Sistemas de frazadas para acelerar el endurecimiento: Un sistema moderno para acelerar la apertura al tráfico con concreto hidráulico tradicional es la utilización de frazadas sobre el pavimento. Estas frazadas se constituyen por un geotextil grueso o polietileno con burbujas, lo que hace que el concreto retenga calor de hidratación y aumente su temperatura, acelerando el endurecimiento y la apertura al tráfico.

4. Pavimentos delgados: Surgen a partir de la nueva versión del método de diseño ASSHTO 2002 que demuestra que si se acortan las losas se pueden adelgazar los pavimentos sin exponerse a fallas o roturas. Juan Pablo Covarrubias, gerente general del ICH en su estudio *Análisis del comportamiento de pavimentos de concreto hidráulico con losas cortas y delgadas en condiciones de carga pesada*, por medio del software ISLAB2000, propone modelos con espesores de entre 8 y 25 centímetros en losas de concreto.

«Comprobamos que losas con espesores de 10 centímetros podían significar un ahorro de US\$ 40 mil kilómetro/pista en pistas de un costo total de US\$ 200 mil. Es decir, ahorros de 20% en el valor del contrato», señala Covarrubias.

«Para el diseño se requiere un geotextil, en el caso de los suelos finos, una base granular drenante de 15 centímetros y la losa de hormigón cortada. Realizamos mediciones periódicas para evaluar el estado del pavimento, alcanzado resultados positivos», señala Covarrubias.

A partir del estudio se realizó un análisis del largo y espesor de losas sometidas a iguales tensiones, que concluye que una losa de 1 metro por 1 metro

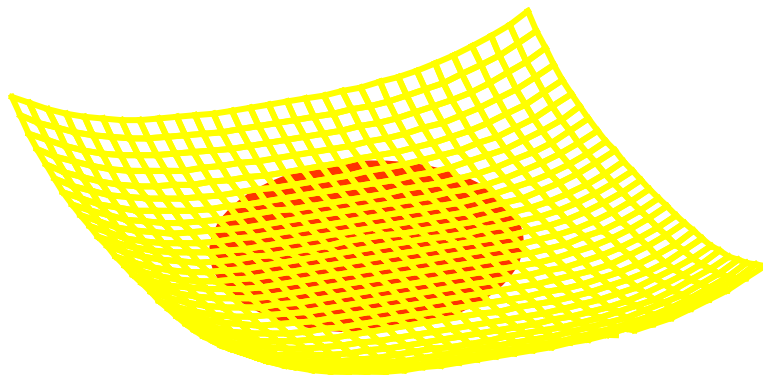
se puede construir con 10 centímetros de espesor y la de 4.5 metros por 4.5 metros se debe construir con 23 centímetros para que tenga igual vida útil.

«En Puerto Montt se hicieron losas de 1.75 metros con 8 centímetros de espesor, las que han durado más de 50.000 ejes equivalentes sin agrietarse. De acuerdo al estudio con elementos finitos, una losa de 4.5 metros de largo de 26 centímetros de espesor tiene la misma duración que una de 1.75 metros de largo y 15 centímetros de espesor. Es decir, losas más pequeñas requieren menos espesor y más cortas permanecen en mayor contacto con el suelo evitando los alabeos», acota Covarrubias.

A mayor largo de junta más importantes llegan a ser las tensiones de alabeo que alteran el comportamiento normal del pavimento.

Ilustración No. 4

Deformación de una losa de 4 metros de largo



El desarrollo se complementa con una máquina cortadora con disco delgado. Además, se propone eliminar el sello entre losas. «El sello es prescindible ya que el agua puede infiltrarse debajo de la losa cuando la base no es afectada, escurriendo por la base porosa hasta la tierra, al igual que si no hubiera pavimento», sostiene Covarrubias.

B. Tecnologías de construcción

Existen dos tipos de técnicas para extender la vida útil del pavimento rígido, la conservación y rehabilitación. La rehabilitación recupera o aporta capacidad estructural al pavimento. Mientras, las técnicas de conservación tienen como objetivo principal la restauración de la capacidad funcional de un pavimento, disminuyendo la tasa de deterioro.

1. Conservación: El cepillado se utiliza para resolver problemas en el concreto hidráulico y consiste en el desgaste superficial de la losa por medio de una máquina cepilladora para remover deformaciones superficiales y potenciar la resistencia a la fricción del pavimento, así como la lisura o irregularidad superficial mínima. El cepillado mejora el drenaje superficial porque deja una especie de canalito longitudinal que hace circular el agua. Contribuye también a disminuir el nivel de ruido de la interacción del neumático de vehículos en pavimento en 2 a 3 decibeles.

2. Restauración: Se trata de técnicas desarrolladas para disminuir la tasa de deterioro del pavimento de concreto hidráulico. Las innovaciones en esta área apuntan a conseguir mayor duración, menor precio, evitar la repetición de fallas, y agilizar la implementación. La selección de técnicas de restauración comprende:

a. Restauración de espesor parcial: Hay diversos métodos de reparación del concreto hidráulico, como espesor parcial y espesor completo. Las de espesor parcial involucran roturas superficiales de la losa y el deterioro de juntas y grietas (o desconches) que comprometen hasta un tercio del espesor, más allá de esto la losa se hunde y hay que aplicar otro método.

1) Barras en cruz: Se utilizan para reparar grietas longitudinales de esquinas que están en condición regular. Consiste en la colocación de unas barras de hierro del tipo A44 28H que se insertan cruzadas sobre el pavimento para mantener la trabazón de los agregados.

2) Estabilización de losas: El objetivo es reestablecer un soporte uniforme rellenando los vacíos debajo de la losa. Los vacíos generalmente se producen porque al pasar los neumáticos de una losa a la otra salta el agua y se lleva el material fino, dejando a la losa inestable, lo que puede producir quiebres de esquinas y hendiduras. La estabilización de la losa se puede aplicar, especialmente en juntas transversales de losas sanas, antes de que se produzca la grieta. Se realiza por medio de la inyección de una lechada que permite rellenar los vacíos que se producen entre la losa y la base, sin levantar la losa.

C. Método de Losas Cortas

El método consiste en elaborar losas de menor longitud y espesor, las cuales tienen la resistencia necesaria para soportar las cargas de tránsito para la cual fueron diseñadas. Su diseño es al igual que los pavimentos rígidos, mediante el método AASHTO 93. La idea básica por el cual surgió, es de disminuir la longitud y por ende disminuir el espesor lo cual se transforma en un ahorro en costos debido a las dimensiones que se emplean en este tipo de losas. Por lo que su principal diferencia con un pavimento tradicional es que los espesores son menores a los mínimos aceptados y tienen largos de juntas menores. Las losas cortas corresponden a una optimización entre las variables de diseño y el comportamiento del concreto. El método especifica las siguientes características:

1. Base:
 - a. Granular
 - b. 15 centímetros de espesor

- c. CBR de 30 a 50% para permitir que la losa se entierre en la base ante la eventualidad de alabeo.
 - d. El porcentaje de finos debe ser menor al 6% (pasa tamiz No. 200)
 - e. No se coloca capa impermeable entre base y losa
2. Concreto hidráulico:
- a. Asentamiento de cono 5 a 10 centímetros (2 a 4 pulgadas)
3. Dimensiones de losas:
- a. Cuadradas en función a ancho de pista
4. Lisura:
- a. $IRI < 2 \text{ m/km}$
5. Terminación superficial:
- a. Rayado longitudinal
 - b. Profundidad del rayado de 2 a 4 milímetros
6. Corte de juntas:
- a. Antes de la primera noche
 - b. Corte de 2 milímetros de ancho
7. Sello de juntas:
- a. Sin sello, sólo corte delgado

V. PROYECTO: REHABILITACIÓN CARRETERA CA-9N

A. Ubicación

El proyecto se desarrolla en la Ruta CA-9 Norte, teniendo como inicio el Puente Rodriguitos (km 8.3) hasta el cruce a Palencia (km 18.7), con una longitud aproximada de 10.4 kilómetros. Contractualmente se tiene como parte del aspecto técnico la ampliación de la Ruta a tres carriles, para lo cual se deberá ampliar la sección existente, efectuando cortes y rellenos respectivos.

B. Antecedentes

De acuerdo a estudios efectuados y diversas reuniones sostenidas entre los personeros representantes de la Unidad Ejecutora de Conservación Vial (COVIAL), el Supervisor y el Ejecutor, se propuso la alternativa de efectuar un cambio en el Diseño Original, para lo cual se tiene la colocación de una estructura compuesta por concreto hidráulico y la ampliación a cuatro carriles, sustituyendo la utilización de concreto asfáltico como carpeta de rodadura, de lo anterior se procedió a efectuar los análisis técnico-económicos correspondientes.

Con relación al desarrollo del proyecto, es necesario mencionar los siguientes aspectos los cuales han sido parte fundamental para el desarrollo del mismo:

1. Servicios existentes: debido a que el proyecto se desarrolla en zona urbana, se dificulta en gran manera tener un avance continuo, ya que es necesario efectuar remoción y reubicación de los servicios existentes postes de energía eléctrica, fibra óptica, servicios de cable y televisión, sistemas de conducción de agua (general y domiciliar). Para la ejecución de los trabajos programados fue necesario contactar a cada una de las empresas que prestan los servicios antes mencionados.

2. Corte en roca: por el alto índice vehicular que transita por el proyecto, se procedió a efectuar ampliaciones en cortes de talud que presentaban material rocoso en periodos nocturnos.

3. Accesos a poblados: se estudian las alternativas para los accesos a poblados, dentro de los que se mencionan, la entrada a San José del Golfo y Planes de Llano Largo.

4. Ampliación de la ruta: debido a la topografía del terreno, es necesario la construcción de obras de protección (muros de contención), para poder colocar la sección típica seleccionada.

5. Viabilidad y señalización: por la importancia que se tiene en la ruta y debido a que no existen rutas alternas, se mantiene una viabilidad dentro del proyecto con una señalización adecuada, ello con el fin de evitar molestias a los usuarios.

El diseño del pavimento nuevo de concreto hidráulico se analizó mediante los modelos de comportamiento de HDM 4, utilizando el software Pavement Evaluator que utiliza los mismos modelos para pavimentos rígidos. Se analizó el análisis con estos modelos por ser mecanicistas e incorporar el alabeo de las losas y su largo como factores importantes en el comportamiento de este tipo de pavimentos. Para obtener los datos que se deben introducir en el programa se estudió el tráfico que recorre el tramo en consideración y así poder obtener los ejes equivalentes, dado que es el dato principal para poder llevar a cabo las iteraciones dentro del programa y lograr obtener las medidas de la losa típica a construirse en el tramo.

Tabla No.1
Evaluación del tránsito, diciembre, 2006

TIPO VEHÍCULO	Auto	PU	C2	C3	C4	T3S2	T3S3	TSR4	MB	BUS	TOTAL
16 Ag 6 a 18	4313	2205	1195	331	5	727	103	12	568	620	14,963
16 Ag 18 a 6	2531	796	347	59	4	607	76	9	266	191	
17Ag 6 a 18	4172	2256	1527	421	4	896	79	10	568	635	15,205
17 Ag 18 a 6	2447	721	328	81	5	526	63	12	277	177	
30 Ag 6 a 18	4351	2200	1505	379	0	1194	184	2	650	620	14,780
30 Ag 18 a 6	1667	635	411	107	3	442	70	5	212	143	
31 Ag 6 a 18	4322	1820	1330	490	1	845	134	3	553	635	14,447
31 Ag 18 a 6	1963	825	464	98	3	432	92	6	254	177	
FACTOR D LAB	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.15	0.14	
TPDS AG 2006	6573	2728	1586	413	5	1125	159	12	797	816	14,214
TASA CREC	8.00%	6.50%	3.50%	4.00%	5.00%	5.00%	4.00%	5.00%	3.50%	3.5	

Tabla No.2
Promedio TPDA, ambos sentidos

TIPO VEHÍCULO	AUTO	PU	C2	C3	C4	T3S2	T3S3	TSR4	MB	BUS	TOTAL
TPDA 2008	7099	2905	1642	430	5	1181	165	12	825	844	15,108
TASA CREC	8.00%	6.50%	3.50%	4.00%	5.00%	5.00%	4.00%	5.00%	3.50%	3.50%	

Tabla No. 3
Proyecciones TPDA

AÑO	AUTO	PU	C2	C3	C4	T3S2	T3S3	TSR4	MB	BUS	TOTAL
2008	7099	2905	1642	430	5	1181	165	12	825	844	15,108
2012	9658	3737	1884	503	6	1436	193	15	947	969	19,347
2017	14191	5120	2238	612	8	1832	235	19	1124	1150	26,529
2022	20851	7015	2658	745	10	2338	286	24	1335	1366	36,628
2027	30637	9611	3157	906	13	2984	348	30	1586	1623	50,895

AUTO: automóvil

C2: camión de carga de 2 ejes

C3: camión de carga de 3 ejes

C4: camión de carga de 4 ejes

T3S2: tractocamión de 3 ejes con semiremolque de 2 ejes

T3S3: tractocamión de 3 ejes con semiremolque de 3 ejes

TSR4: tractocamión de 3 ejes con remolque de 4 ejes

MB: microbus

BUS: bus extraurbano/urbano

Tabla No. 4
Total de vehículos en periodo de diseño

PERIODO	AUTO	PU	C2	C3	C4	T3S2	T3S3	TSR4	MB	BUS
5	2.E+07	6.E+06	3.E+06	9.E+05	10091	2.E+06	3.E+05	24219	2.E+06	2.E+06
10	4.E+07	1.E+07	7.E+06	2.E+06	22970	5.E+06	7.E+05	55129	4.E+06	4.E+06
15	7.E+07	3.E+07	1.E+07	3.E+06	39408	9.E+06	1.E+06	94579	6.E+06	6.E+06
20	1.E+08	4.E+07	2.E+07	5.E+06	60387	1.E+07	2.E+06	1.E+05	9.E+06	9.E+06

C. Especificaciones: Pavimento de concreto hidráulico

El pavimento tendrá un espesor de 20 centímetros. En toda la sección de la vía. El tamaño de losas considerado es de 1.80 m. x 1.80 m. (con sobre ancho mínimo de 0.30 m.) (Apéndice 1)

Además de las especificaciones descritas, el concreto debe cumplir con las siguientes condiciones:

Resistencia a Flexo tracción del concreto: 45 kg/cm^2 con 80% de nivel de confianza a 28 días. (Hacer ensayos a flexión y compresión para buscar correlación y luego utilizar como recepción testigos o núcleos).

Para el pavimento en el carril nuevo, se recomienda construir la siguiente estructura:

1. Subrasante: El diseño considera un suelo arenoso-limoso con grava, y en algunos puntos grava-arenoso y arenosos, el cual deberá conformarse a una profundidad de 20 centímetros, compactado con un mínimo de 95% de la densidad máximo según AASHTO T 180.

2. Capa de base: Para esta propuesta el diseño requiere que la base sea compuesta por una base triturada estabilizada con cemento, este

material se deberá conformar y compactar hasta lograr el 98% de la densidad máxima determinada por el método AASHTO T 180 con espesor de 20 centímetros.

3. Carpeta de rodadura: Para la carpeta de rodadura el diseño determina un espesor de 20 centímetros. La mezcla de concreto hidráulico debe poseer una capacidad de resistencia a la flexión de 45 kg/cm^2 (640 psi), a los 28 días.

4. Juntas de contracción: Los cortes de las losas se ejecutaran de forma de generar losas de 1.80 metros en sentido longitud y 1.80 m. en sentido transversal, sin dovelas ni barras de amarre. Esto significa que cada pista de 3.60 metros de ancho se cortara al centro para generar dos pistas cada una de 1.80 metros. Todos los cortes deben terminarse antes de 18 horas de colocado el concreto, y siempre antes de la segunda noche.

Para evitar el desplazamiento lateral de las losas de los carriles, en los costados extremos del pavimento se colocaran dos pines por cada losa. Estos pines serán de acero diámetro No. 5 y de 45 centímetros de largo hincados hasta 5 centímetros bajo el nivel superior del pavimento de concreto. Los pines estarán ubicados en el hombro.

Para el pavimento que se coloque sobre el carriel existente, se deberá fresar el asfalto una profundidad de 3 centímetros para luego colocar la carpeta de rodadura con una mezcla de concreto que cumpla con las especificaciones mencionadas.

D. Proceso de control de calidad

1. Resistencia: Cada 200 m³ (o fracción diaria menor) colocados en pista:
 - a. 1 Ensayo (1 viga y 1 cilindro) a los 3 días
 - b. 1 Ensayo (3 vigas y 3 cilindros) a los 7 días
 - c. 1 Ensayo (3 vigas y 3 cilindros) a los 28 días
 - d. 1 Ensayo (1 viga y 1 cilindro) a los 90 días

2. Revenimiento: Se medirá el asentamiento del concreto, en cada camión, tanto al salir de la planta como en pista. El revenimiento en pista deberá oscilar entre 1.5 pulgadas y 3 pulgadas, ideal de 2 pulgadas a 2.5 pulgadas.

3. Temperatura: Será medida al momento de llegar el concreto a la obra, la temperatura será de 20°C +/- 10°C; como excepción la temperatura máxima podrá llegar a los 32°C, por encima de esta no se permitirá la colocación del concreto, la medida diaria debe estar por debajo de los 30°C.

4. Apertura al tráfico:
 - a. Controlar la apertura al tráfico por medio de la madurez del concreto hidráulico colocado el ultimo día del tramo a abrir a tráfico.

 - b. Cuando el concreto hidráulico alcance una resistencia a la flexo tracción de 30 kg/cm².

 - c. Preparar correlación madurez resistencia del concreto hidráulico.

 - d. Tramos de 2 kilómetros cada seis días.

Para el espesor de las losas de concreto hidráulico de 20 centímetros obtenido del Modelo Matemático utilizado en el diseño de estructura de pavimento funcione correctamente durante su periodo de diseño, es necesario que los materiales de las capas subyacentes al mismo (base triturada estabilizada con cemento de 20 centímetros de espesor y reacondicionamiento de sub-rasante) cumplan con lo establecido por las normas AASHTO y el Libro de Especificaciones Generales para la construcción de Carreteras y Puentes Edición Septiembre de 2001; así mismo es importante garantizar que no existan cambios volumétricos en la sub-rasante. Además de los anterior debe tomarse en cuenta que el drenaje de la estructura de pavimento debe funcionar adecuadamente.

E. Proceso de desarrollo

1. El análisis que se indica, se efectuó en base a los conteos de tránsito, calicatas y ensayos de laboratorio efectuados por terceros y la evaluación mediante deflectómetro de impacto efectuado por terceros. La carga de diseño obtenida para un periodo de 20 años es de 50,108,000 ejes equivalentes de 18,000 libras. (Apéndice 2)

Tabla No.5

Datos finales de ejes equivalentes

DOS CARRILES EN C/SENTIDO

F. CARGA	1
F. CARRIL	0.8
F. PISTAS	0.5
F. TOTAL	0.4

5 AÑOS	8,938,250
10 AÑOS	19,925,672
15 AÑOS	33,447,668
20 AÑOS	50,108,232

2. Los materiales de sub-rasante en el tramo en consideración, muestran que en la sub-rasante, predominan los suelos tipo A-2-4, arena limosa grava, con algunos puntos con materiales A-1-b, grava arenosa o A-3, arena fina. Los ensayos de resistencia CBR en las muestras remoldeadas de éstos materiales dieron resistencias elevadas mayores del 70%, sin embargo los resultados obtenidos en el análisis de deflexiones, presentan valores de módulo de resiliencia de la sub-rasante al 15 percentil con un mínimo de 439 kg/cm^2 y un valor modal mayor de 500 kg/cm^2 , esto por tratarse de suelos granulares sin efectuar la corrección recomendada en la *Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento de AASHTO* 1993 en la sección 5.3.4 Parte III. Por las razones indicadas, se optó por usar como CBR de diseño de la sub-rasante un valor del 5.0%, con un módulo de resiliencia de 503 kg/cm^2 , valor equivalente a usar un módulo estático de reacción de la sub-rasante de 40.0 Mpa/m o un módulo dinámico de 80.0 Mpa/m usando un coeficiente de drenaje de 1.0. (Apéndice 3)

3. El diseño propuesto considera el uso de losas cortas de concreto de 20 centímetros de espesor, cuadradas de 1.80 metros por lado para las zonas interiores del pavimento y un sobre ancho de 0.30 metros en las losas exteriores contiguas al hombro.

4. El cálculo estructural de la estructura del pavimento, se efectuó empleando el programa Pavement Evaluator 1998, desarrollado con el patrocinio de FICEM (Federación Interamericana del Cemento). El uso de este programa fue aceptado por la Dirección General de Caminos para el diseño de las rehabilitaciones efectuadas o en proceso, en las carreteras CA-9 Sur, CA-1 Oriente y CA-1 Occidente y también se usó para el diseño del pavimento en el tramo Palencia – Agua Caliente de la carretera CA-9 Norte, contiguo al tramo en consideración.

5. Los parámetros básicos de diseño usados en este proyecto, tales como el módulo de ruptura del concreto de 45 kg/cm^2 (640 lbs/plg^2), coeficiente de

drenaje 1.0, módulo de resiliencia de la base estabilizada con cemento, precipitación media anual, variaciones de temperatura, módulo de elasticidad del concreto y sus coeficientes de retracción y temperatura se adecuan a las condiciones particulares de este proyecto.

6. En el proceso de cálculo se usaron valores iguales a la unidad para todos los factores regionales de calibración. Este criterio se consideró aceptable tomando en cuenta que la aplicación del método de diseño en referencia es muy reciente en nuestro medio y todavía no existe información del comportamiento a largo plazo de los pavimentos de losas cortas de concreto hidráulico construidos en las carreteras principales del país en los últimos dos años.

7. En la propuesta de diseño, se consideran dos condiciones:

a. Para la rehabilitación del pavimento asfáltico existente, esta previsto el fresado de la carpeta existente en una profundidad de 3.0 centímetros como mínimo.

b. Para las ampliaciones de la carretera se considera el uso de una capa de base estabilizada con cemento de 20 centímetros de espesor, nivelada con la carpeta asfáltica remanente de las operaciones de fresado para proporcionar una rigidez similar entre el pavimento a rehabilitar y sus ampliaciones.

8. El diseño propuesto no considera el uso de una capa de sub-base en las ampliaciones, pero por razones constructivas, para homologar la estructura de las ampliaciones con la del pavimento existente y para compatibilizar la rasante existente con las ampliaciones de la sección típica a cuatro carriles, se considera conveniente incluir una capa de sub-base de espesor variable con un mínimo de 15 centímetros y máximo de 30 centímetros. Esta variación del espesor como se

indico anteriormente, tiene el propósito de compatibilizar la rasante del pavimento de la rehabilitación con la rasante de las ampliaciones.

9. Se interpreta que la propuesta de diseño considera que el ancho de los hombros se completara con la fundición de un ancho adicional contiguo a las losas exteriores las que incluyen un sobre ancho de 30 centímetros. La propuesta de diseño, para limitar los desplazamientos laterales de las losas, incluye el uso de dos barras verticales No. 5 de 45 centímetros de longitud hincadas hasta 5 centímetros bajo el nivel superior del pavimento y cubiertas con la fundición del complemento del hombro.

10. La propuesta de diseño especifica que para formar las juntas de construcción se efectúen cortes de sierra de 2 milímetros de ancho y 6 centímetros de profundidad con el sistema SoffCut para formar cuadrados interiores de 3.60 metros de lado o rectángulos exteriores de 3.60 por 3.90 metros, para que en una segunda etapa se efectúen cortes intermedios para obtener losas de 1.80 por 1.80 metros en los tramos interiores y de 1.80 por 2.10 en la orilla exterior de las pistas. El diseño no considera el uso de compuestos selladores de las juntas cortadas aunque por razones de cálculo, en los resúmenes correspondientes se considera un sello líquido, para incorporar el efecto del corte SoffCut de ancho reducido. Se considera que este criterio es aceptable.

Ilustración No. 5

Método SoffCut



11. En adición a lo indicado en el numeral anterior, al aplicar el modelo del Pavement Evaluator, dicha evaluación se efectuó usando un IRI inicial de 2.5 m/km, usando una capa de base estabilizada con cemento y para una condición sin mantenimiento rutinario.

12. Los resultados obtenidos para un periodo de diseño de 20 años, proporcionaron un IRI final de 2.576 m/km, con una longitud insignificante de falla en las juntas, un 2.62% de desportillamiento en las juntas y 0.0% de agrietamiento transversal.

13. Para contar con un elemento de comparación, la propuesta de diseño se verifico aplicando los programas de análisis Mecánico – Empírico de AASHTO 2002 con una confiabilidad del 85.0%, con la variante que se uso una longitud de losas de 3.0 metros, correspondiente al menor valor aceptado por este método, bajo el concepto de que al reducir la longitud de las losas los esfuerzos y el deterioro se reducen, por lo que si el comportamiento es adecuado con una longitud incrementada, su confiabilidad aumenta al reducir la longitud de las losas, quedando sujeto a comprobación el efecto de la reducción de la longitud de las losas en la magnitud del IRI al final del periodo de diseño.

14. Los resultado del análisis usando los programas AASHTO 2002 para un periodo de diseño de 20 años y con el nivel de confiabilidad indicado anteriormente, fueron de una longitud promedio de fallas de 0.125 pulgadas, un porcentaje de daño acumulado menor del 3.0%, un valor menor del 5.0% de las losas agrietadas y un IRI final menor de 265 pulgadas por milla (4.2 m/km).

15. Debido a que la carretera existente, tiene un bombeo en el rango de 2% al 3% a partir del eje original de este tramo, al ampliar la sección típica a cuatro carriles y localizar el nuevo eje en el centro de la sección típica ampliada, se puede generar una incompatibilidad de elevaciones y bombeos entre el carril existente contiguo a la ampliación y los nuevos carriles. Se considera que esta

situación puede compatibilizarse colocando una capa de nivelación de concreto asfáltico en caliente en forma de cuña entre el eje original y el nuevo eje, o demoliendo el carril existente contiguo a la ampliación para dejar el nuevo eje como origen de las pendientes de bombeo o punto de giro de los peraltes en las curvas en cuyo caso los espesores del pavimento de ampliación y el carril demolido deberán de ser los considerados para construcción nueva como se indica en los numerales 6 y 7 anteriores.

16. Las dos opciones consideradas anteriormente, desde el punto de vista de los requerimientos estructurales del pavimento, son equivalentes por lo que la definición del tipo de solución dependerá de las condiciones particulares de cada caso, tomando en consideración la adaptación a los niveles de los servicios o accesos a propiedades adyacentes, la facilidad de adecuarse a procedimientos constructivos preferentemente uniformes en toda la longitud del proyecto y a las variaciones de costos entre una y otra solución.

F. Proceso constructivo

Las actividades que conllevan la construcción del pavimento son las siguientes:

1. Preparación de la base
2. Fundición de losas
3. Terminación superficial
4. Curado
5. Corte de juntas

A continuación se describen los pasos del proceso:

1. Preparación de la base: La base debe cumplir con las especificaciones técnicas del proyecto. Se debe tomar en cuenta que no se puede utilizar polietileno bajo el concreto, debido a que aumentan las deformaciones de alabeo de las losas. Si se tienen problemas de capilaridad de humedad hacia la base, se deberá colocar polietileno bajo la base para evitar humedad excesiva en la parte inferior de la losa y secado en la superficie.

2. Fundición de losas: Se debe tener cuidado de que los espesores sean los de diseño y que éstos no sean menores y se debe mantener uniformidad en las medidas. Se deben cuidar los tiempos de colocación para evitar esperas excesivas del concreto antes de su utilización en el sitio. El vibrado del mismo es muy importante para lograr losas homogéneas y sin defectos.

3. Terminación superficial: Se debe alisar inmediatamente después de colocado el concreto. Se debe aplicar una mezcla de retardador que evite la evaporación del agua durante el secado del mismo. El rayado debe hacerse longitudinal para reducir el sonido resultante entre las llantas y el concreto hidráulico.

4. Curado: Debido a que se solicita una rápida apertura al tráfico se utilizan mantas de polietileno con burbujas o un geotextil para acelerar la resistencia del concreto.

5. Corte: Las juntas son realizadas para evitar la ocurrencia de fisuras en el concreto fresco y se deben iniciar tan pronto se pueda colocar una cortadora sobre la losa y éste no la dañe al efectuar el corte. Se hace uso del corte SoffCut con sierra delgada que permite no sellar las juntas, de esta manera se reduce el costo y mantenimiento de los mismos. La junta deberá tener un ancho de 2 milímetros y una profundidad de 6 centímetros.

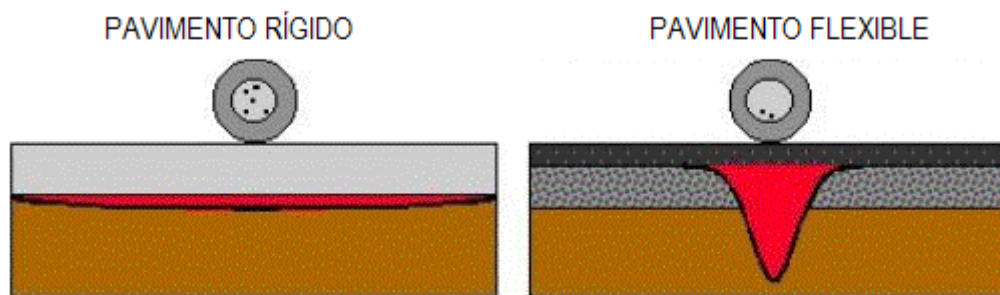
VI. COMPARACIÓN ENTRE PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE

A continuación se detallan diferencias existentes entre el pavimento flexible y el pavimento rígido.

1. Forma de absorber el esfuerzo que es ejercido sobre el pavimento: El pavimento flexible al estar sometido a un esfuerzo, éste es transmitido a las capas inferiores. El pavimento rígido al estar sometido a un esfuerzo, el concreto absorbe gran parte del mismo.

Ilustración No. 6

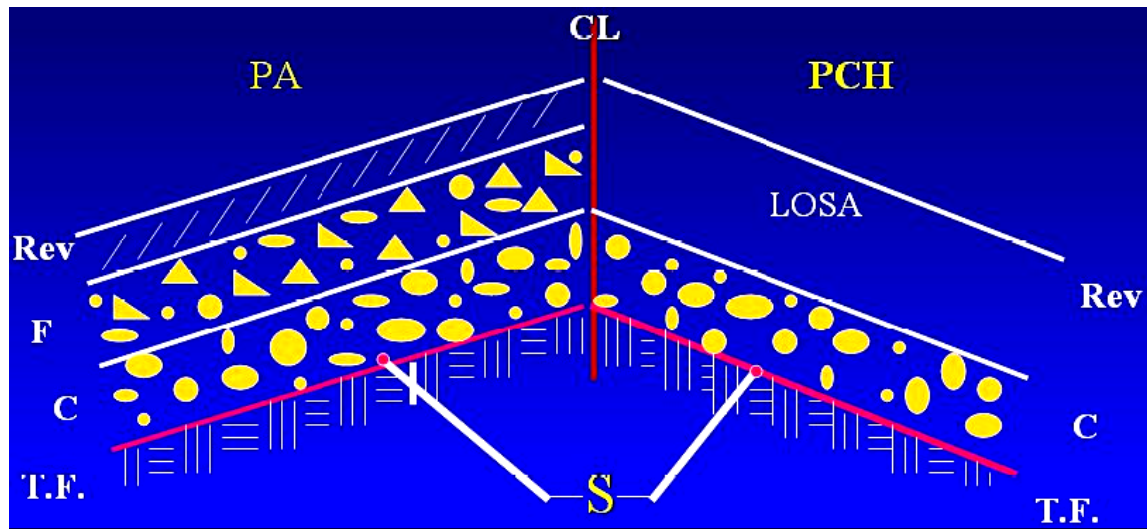
Forma de absorber un esfuerzo



2. Capas que lo conforman: El pavimento flexible está conformado básicamente por una sub-base, base y carpeta asfáltica o carpeta de rodadura. El pavimento rígido está conformado básicamente por una sub-base y losa de concreto hidráulico.

Ilustración No. 7

Comparación de las capas entre pavimentos



LEYENDA:

PA = Pavimento flexible
 Rev = Carpeta de Rodadura
 F = Base
 C = Sub-base
 S = Sub-rasante
 T.F. = Terraplén

PCH = Pavimento rígido
 Losa = Cemento Portland.
 C = Sub-base
 S = Sub-rasante
 T.F. = Terraplén

3. Diseño: Ambos pavimentos deben diseñarse en base a las especificaciones planteadas en AASHTO 1993 o en su versión más desarrollada AASHTO 2002.

4. Costos: Empleando el caso de la rehabilitación del tramo en consideración, cuya propuesta original era que se llevase a cabo una ampliación de la carretera a tres carriles con pavimento flexible utilizando una carpeta de rodadura de asfalto con un espesor de 15 centímetros. Luego en una contrapropuesta se propuso una carretera de cuatro carriles de concreto hidráulico con un espesor de 20 centímetros mediante el uso de losas cortas.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las carreteras son unas vías de comunicación que mejoran el desarrollo del país. Cuando las carreteras se encuentran en un buen estado, transitar en ellas produce una comodidad para el usuario y mantiene una impresión a cerca del desarrollo del lugar. Usar concreto hidráulico para la construcción del pavimento no es una tecnología nueva, lo nuevo es la implementación de losas cortas. El desarrollo de este tema tiene como principal desarrollador al ingeniero Juan Pablo Covarrubias, quien se ha dedicado a estudiar e implementar el método en Chile.

- El método tiene como punto de partida el desarrollo de losas de menor longitud que las losas tradicionales, esto con el fin de reducir el espesor; dado que la reacción ante los esfuerzos de carga aplicada varía con respecto a una losa tradicional ya que son de menor magnitud.
- La reducción en el espesor de la losa se traduce en una reducción de costo por kilómetro de pavimento rígido construido. Debido al volumen de concreto hidráulico que se debe emplear para desarrollar el tramo carretero.
- En Guatemala dicho método se está contemplando cuando se evalúa la rehabilitación de una carretera, tal es el caso del tramo que se describió en este trabajo. Debido a que el método se encuentra en desarrollo, no se encuentra una norma con un procedimiento aprobado para su diseño pero se siguen los pasos de diseño de un pavimento rígido con losa tradicional. Cuyo objetivo es hacer uso de un programa y con base a las características del terreno y los datos recopilados se hacen iteraciones para encontrar un espesor que sea capaz de resistir la carga de diseño.

- El método a su vez permite una rápida apertura al tráfico, dado que el concreto está diseñado para alcanzar una resistencia a flexotracción en los primero dos días de 30 kg/cm^2 .
- El corte de juntas cuya medida no excede de 2 milímetros de ancho y 6 centímetros de profundidad permite un ahorro en el sello y en el mantenimiento de las mismas.
- Debido a la reducción en costos y la durabilidad de veinte años la contrapropuesta para una carretera de cuatro carriles y de concreto hidráulico supero la expectativa de una carretera de tres carriles de asfalto.
- Se deben realizar ensayos en laboratorio para comprobar que el concreto hidráulico empleado esta cumpliendo con los requisitos establecidos por el diseño.
- Debido a que es un desarrollo nuevo, se recomienda que los tramos que están abiertos al tráfico sean observados por cualquier anomalía que ponga en peligro el funcionamiento correcto del pavimento.
- Los tramos de la carretera que se encuentran en uso no han presentado deformaciones ni grietas que pudiesen evidenciar el mal funcionamiento de las losas.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Covarrubias, Juan P. 2001. «Análisis del comportamiento del comportamiento de pavimentos de concreto con losas cortas y delgadas en condiciones de carga pesada». Chile. ICH, pág. 24-52.

_____. 2003. «Pavimentos de hormigón: Suaves y durables». *Boletín del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile*. (30): 4-6

_____. 2004. «Recomendaciones para construcción y mantenimiento de pavimentos de hormigón». *Boletín del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile*. (18): 5-8

_____. 2005. «ICH Estudia el comportamiento de pavimentos delgados de hormigón». *Boletín del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile*.(33): 3-5

_____. 2006. «Recomendaciones: ¿Por qué preferir un pavimento de hormigón?». *Boletín del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile*. (29): 4-6

Guatemala 2001. Dirección General de Caminos. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCION DE CARRETERAS Y PUENTES. Ministerio de Comunicaciones y Vivienda (MICIVI).

Jerez, Carlos. 1999. *RESUMEN, APUNTES Y GUIA DE ESTUDIO*. Guatemala.

IX. APÉNDICE

Apéndice 1

Tabla No. 6

Espesores de capas

ESTACIÓN DER	SUB RASANTE	SUB BASE	BASE	CAC	TOTAL
0+073	30.0	15.0	15.0	16.5	76.5
1+240	30.0	22.0	12.5	21.5	86.0
5+280	10.0	25.0	25.0	6.0	66.0
7+280	30.0	25.0	21.0	6.5	82.5

ESTACIÓN IZQ	SUB RASANTE	SUB BASE	BASE	CAC	TOTAL
2+060	20.0	23.0	15.0	12.0	50.0
3+280	30.0	15.0	10.0	25.0	50.0
6+200	40.0	40.0	20.0	7.5	67.5
8+135	20.0	30.0	20.0	6.5	56.5

ESPESORES CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS

De	Hasta	AC_mm	Base_mm	Sub base_mm	H_mm
0.000	2.060	142	150	190	482
2.060	3.820	185	125	190	500
3.820	5.280	155	175	200	530
5.280	6.200	68	225	325	618
6.200	7.280	70	205	325	600
7.280	10.000	65	205	275	545

MÓDULO DE SUBRASANTE (CARRIL DERECHO)

Sector		Es (Kg/cm ²)		Percentil 85	Coef. Var.
De	Hasta	Promedio	STD		
0.000	2.650	552	212	340	38%
2.650	3.000	3,743	1,804	1,938	48%
3.000	4.850	672	135	537	20%
4.850	6.300	802	246	556	31%
6.300	8.150	1,161	345	807	30%
8.150	10.550	969	319	650	33%

MÓDULO DE SUBRASANTE (CARRIL IZQUIERDO)

Sector		Es (Kg/cm ²)		Percentil 85	Coef. Var.
De	Hasta	Promedio	STD		
0.025	0.975	742	226	516	30%
0.975	2.525	823	324	499	39%
2.525	2.925	1,998	762	1,236	38%
2.925	3.575	759	148	610	20%
3.575	3.825	1,113	186	927	17%
3.825	4.925	631	192	439	30%
4.925	7.025	805	242	564	30%
7.025	8.175	1,433	467	966	33%
8.175	10.525	910	385	525	42%

Apéndice.2

Tabla No. 7

Cálculo de ejes equivalentes

TOTAL DE VEHÍCULOS EN PERIODO DE DISEÑO

PERIODO	AUTO	PU	C2	C3	C4	T3S2	T3S3	TSR4	MB	BUS
5	1.5E+07	6.0E+06	3.2E+06	8.5E+05	1.0E+04	2.4E+06	3.3E+05	2.4E+04	1.6E+06	1.7E+06
10	3.8E+07	1.4E+07	7.0E+06	1.9E+06	2.3E+04	5.4E+06	7.2E+05	5.5E+04	3.5E+06	3.6E+06
15	7.0E+07	2.6E+07	1.2E+07	3.1E+06	3.9E+04	9.3E+06	1.2E+06	9.5E+04	5.8E+06	5.9E+06
20	1.2E+08	4.1E+07	1.7E+07	4.7E+06	6.0E+04	1.4E+07	1.8E+06	1.4E+05	8.5E+06	8.7E+06

CARGAS DE EJE LBS

Eje 1	2000	3000	10370	10370	10370	10370	10370	10370	3000	12000
Eje 2	2000	3000	22700	34550	46000	34550	34550	34550	3000	16000
Eje 3						34550	46000	34550		
Eje 4								34550		
Eje 5										

FACTORES EQUIVALENCIA PARA Pt=2.5, t LOSA=20.0 cm

Eje 1	0.0002	0.0008	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.0008	0.1813
Eje 2	0.0002	0.0008	2.5666	1.8954	1.917	1.8954	1.8954	1.8954	0.0008	0.6114
Eje 3						1.8954	1.917	1.8954		
Eje 4								1.8954		
Eje 5								1.8954		
TOTAL	0.0004	0.0016	2.6646	1.9934	2.015	3.8888	3.9104	7.6796	0.0016	0.7927

TOTAL DE EJES EQUIVALENTES:

2 CARRILES EN C/SENTIDO

F. CARGA	1
F. CARRIL	0.8
F. PISTAS	0.5
F. TOTAL	0.4

5 AÑOS	8,938,250
10 AÑOS	19,925,672
15 AÑOS	33,447,668
20 AÑOS	50,108,232

Apéndice 3

Tabla No. 8

Evaluación de la sub-rasante

UBICACIÓN DE LA CALICATA			CAPAS ESTUDIADAS	ESPESOR								LÍMITES DE ATTERBERG		EQUIVALENTE DE ARENA %	DENSIDAD SECA MAXIMA kg/m ³	HUMEDAD OPTIMA %	VALOR SOPORTE		
No.	EST.	LADO			CM	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 100	No. 200					LL	LP
3	2+060	I	SUB-RASANTE	0.2	97.7	96.2	87.7	79.5	68.8	43.1	220	145	21.5	19.7	45.92	1.813	13.4	152	
			SUB-BASE	0.23	0	99.6	96.1	91.8	84.3	57.2	34.8	27.9	24.3	0	13.96	1.647	17.3	74	
			BASE	0.15	96.1	88.2	72.7	54.9	41.6	25.6		10.5	23.3	0	52.67	1.721	19.6	119	
			CAPA DE ASFALTO	0.12															
1	0+073	D	SUB-RASANTE	0.3	100	98.1	93.7	87.6	79.1	57.3	35.7	26.9	26.5	18.8	14.6	1.838	14.8	107	
			SUB-BASE MATERIAL RECICLADO	0.15															
			BASE	0.15	94.2	87.8	69.6	53	39.9	23.9		9.9	-	-	53.5	1.719	18.2	120	
			CAPA DE ASFALTO	0.165															
4	3+100	D	SUB-RASANTE	0.3		99.5	97.4	92.9	85.2	65.2	38.8	29.9	26.7	21	16.22	1.851	11.9	106	
			SUB-BASE	0.4	88	87.3	67.3	67.9	58.5	43	26.9	18.4	18.4	0	23.53	2.076	8.2	198	
			BASE	0.2	95.5	80.4	65.7	51.8	39.6	24.3		8	27.8	0	59	1.806	16.2	184	
			CAPA DE ASFALTO	0.145															
5	3+820	I	SUB-RASANTE	0.3		99.5	97.4	92.9	85.2	65.2	38.8	29.9	26.7	21	16.22	1.851	11.9	106	
			SUB-BASE	0.15	97.9	97.4	92.9	86.9	79.7	57.6	35.6	24.8	0	0	20.5	1.715	14.9	112	
			BASE	0.1	93.9	91.1	74.8	62.1	51.6	33.8		13.5	0	0	34.9	1.821	15	160	
			CAPA DE ASFALTO	0.25															

A-2-4

A-2-4

A-2-4

A-2-4

X. GLOSARIO

Índice de Rugosidad Internacional (IRI): fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino, por lo que es la medición de la respuesta de un vehículo a las condiciones de un camino. Se expresa en unidades de mm/m, m/km, in/mi, etc. Para un camino pavimentado el rango de la escala es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino prácticamente intransitable.

Módulo de ruptura del concreto: también conocido como resistencia a la flexión, es un indicador de la resistencia a la tensión y puede ser definido como el esfuerzo máximo a tensión para que ocurra la ruptura durante un ensayo de flexión de una viga de concreto simplemente apoyada.

Coefficiente de drenaje: el método actual AASHTO se basa en la capacidad del drenaje para remover la humedad interna del pavimento en función de la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento puede estar expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Módulo de Resilencia: representa la energía que un material absorbe cuando se deforma elásticamente, debido a la acumulación de deformaciones por los esfuerzos cíclicos de compresión y tensión.

Módulo de Elasticidad: también conocido como módulo de Young, es un parámetro característico de cada material que indica la relación existente entre los incrementos de tensión aplicados en el ensayo de tracción y los incrementos de deformación relativa producidos.